

УДК 621.771.261.04.001.5

Д. Г. ПАЛАМАРЬ, С. А. ВОРОБЕЙ, В. Г. РАЗДОБРЕЕВ, И. Ю. ПРИХОДЬКО**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОРАБОТКИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗОН СЕЧЕНИЯ РАСКАТА**

Применение непрерывнолитых заготовок для производства сортовых профилей является одним из важнейших направлений современной металлургии. При переводе действующих сортопрокатных станов на использование непрерывнолитой заготовки вместо исходной катаной не обеспечивается получение качественного готового проката. Поэтому разработка деформационно-температурных параметров прокатки и калибровки валков, которые позволят обеспечить повышенную деформацию осевой зоны раската для необходимой проработки литой структуры является актуальной задачей. Решение этой задачи позволит перевести действующие непрерывные мелкосортные и проволочные станы на непрерывнолитую заготовку с минимальным увеличением ее сечения по отношению к сечению используемой на этих станах катаной заготовки и, следовательно, с минимальными объемами реконструкционных мероприятий. Выполнены аналитические исследования проработки центральных зон раската с использованием разработанного в ИЧМ НАНУ упрощенного метода оценки напряжений. Показано, что с увеличением сечения исходной непрерывнолитой заготовки степень проработки центральных зон раската уменьшается, что вполне логично и не противоречит устоявшимся в теории прокатки представлениям. Подтверждены известные данные о том, что с увеличением диаметра валков, повышением температуры нагрева исходных заготовок, использованием чугунных валков взамен стальных, при прочих равных условиях, глубина проникновения деформации увеличивается. Определено, что наибольшую степень деформации центральных зон раскатов обеспечивают овальные калибры (по сравнению с ящичными калибрами и прокаткой в валках с гладкой бочкой). В результате аналитических исследований установлено, что повышение содержания углерода в стали в пределах, допустимых стандартами, приводит к увеличению степени проработки центральных зон сечения раската. Полученные результаты могут быть использованы при определении технологических режимов производства проката, которые обеспечивают повышенную степень деформационной проработки центральных зон сечения раската.

Ключевые слова: непрерывнолитая заготовка, тип калибра, диаметр валка, чугунные и стальные валки, температура нагрева исходной заготовки, напряженно-деформированное состояние центральной зоны раската

Д. Г. ПАЛАМАР, С. О. ВОРОБЕЙ, В. Г. РАЗДОБРЕЕВ, І. Ю. ПРИХОДЬКО**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ПРОКАТКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПРАЦЮВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНИХ ЗОН ПЕРЕРІЗУ РОЗКАТУ**

Застосування безперервнолитих заготовок для виробництва сортових профілів є одним з найважливіших напрямків сучасної металургії. При перекладі діючих сортопрокатних станів на використання безперервнолитой заготовки замість вихідної катаної не забезпечується отримання якісного готового прокату. Тому розробка деформаційно-температурних параметрів прокатки і калібрування валків, які дозволять забезпечити підвищену деформацію осової зони гуркоти для необхідної опрацювання литої структури є актуальним завданням. Вирішення цієї задачі дозволить перевести діючі безперервні дрібносортні і дровотві стани на безперервнолиту заготовку з мінімальним збільшенням її перетину по відношенню до перетину використовуваної на цих станах катаної заготовки і, отже, з мінімальними обсягами реконструкційних заходів. Виконано аналітичні дослідження опрацювання центральних зон розкату з використанням розробленого в ІЧМ НАНУ спрощеного методу оцінки напружень. Показано, що зі збільшенням перетину вихідної безперервнолитой заготовки ступінь опрацювання центральних зон розкату зменшується, що цілком логічно і не суперечить усталеним в теорії прокатки уявленням. Підтверджено відомі дані про те, що зі збільшенням діаметру валків, підвищенням температури нагріву вихідних заготовок, використанням чавунних валків замість сталевих, при інших рівних умовах, глибина проникнення деформації збільшується. Визначено, що найбільший ступінь деформації центральних зон розкатів забезпечують овальні калібри (в порівнянні з ящичковими калібрами і прокаткою в валках з гладкою бочкою). В результаті аналітичних досліджень встановлено, що підвищення вмісту вуглецю в сталі в межах, допустимих стандартів, призводить до збільшення ступеня опрацювання центральних зон перетину розкату. Отримані результати можуть бути використані при визначенні технологічних режимів виробництва прокату, які забезпечують підвищений ступінь деформаційного опрацювання центральних зон перетину розкату.

Ключові слова: безперервнолита заготовка, тип калібру, діаметр валка, чавунні і сталеві валки, температура нагріву вихідної заготовки, напружено-деформований стан центральної зони розкату

D. G. PALAMAR, S. A. VOROBII, V. G. RAZDOBREEV, I. Y. PRIKHODKO**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ROLLING MODES ON THE EFFICIENCY OF PROCESSING CENTRAL ZONES CUTTING ZONES**

The use of continuously cast billets for the production of varietal profiles is one of the most important areas of modern metallurgy. When translating existing rolling mills to the use of continuously cast billets instead of the original rolled does not provide high-quality finished rolled products. Therefore, the development of deformation-temperature parameters of rolling and calibration of the rolls, which will ensure increased deformation of the axial zone of the roll for the necessary study of the cast structure is an important task. The solution of this problem will allow the transfer of existing continuous small-section and wire mills to continuously cast billets with a minimum increase in its cross section relative to the cross section of the rolled billet used in these mills and, therefore, with the minimum amounts of reconstruction activities. Analytical studies have been carried out to study the central zones of rollout using the simplified stress estimation method developed in the ISI of NASU. It is shown that with an increase in the cross-section of the original continuous-cast billet, the degree of development of the central zones of the roll decreases, which is quite logical and does not contradict the ideas established in the rolling theory. The well-known data confirmed that with an increase in the diameter of the rolls, an increase in the heating temperature of the original blanks, the use of cast iron rolls instead of steel, with other things being equal, the depth of penetration of the deformation increases. It was determined that the greatest degree of deformation of the central zones of rolls is provided by oval gauges (as compared to box gauges and rolling in rolls with a smooth barrel). As a result of analytical studies, it has been established that an increase in the carbon content in steel within the limits allowed by the standards leads to an increase in the degree of study of the central zones of the section of the roll. The results can be used to determine the technological modes of production of rolled products, which provide an increased degree of deformation study of the central zones of the section of the roll.

Keywords: continuously cast billet, caliber type, roll diameter, cast iron and steel rolls, heating temperature of the original billet, stress-strain state of the central zone of roll.

© Д. Г. Паламарь, С. А. Воробей, В. Г. Раздобреев, И. Ю. Приходько, 2018

Введение. Важнейшим направлением развития черной металлургии является переход на технологию непрерывной разливки стали, что позволяет уменьшить расход металла и энергозатраты на единицу выпускаемой продукции. При строительстве новых крупно-, средне-, мелкосортных и проволочных станов наиболее экономичным является объединение машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с прокатным станом в единый комплекс. В зависимости от типа стана и сортамента продукции размеры сечения непрерывнолитых заготовок составляют от 150×150 до 280×280 мм, а в некоторых случаях и больше. Иная картина наблюдается при переводе действующих сортопрокатных станов на применение непрерывнолитых заготовок (НЛЗ). Размер исходных катаных заготовок на большинстве этих станов составляет от 80×80 до 125×125 мм. Вследствие того, что катаные заготовки имеют высокую степень деформационной проработки центральной зоны за счет прокатки на обжимных и заготовочных станах, указанные размеры поперечного сечения заготовок обеспечивают получение качественного готового проката. Непрерывнолитые заготовки характеризуются, как правило, худшими показателями макроструктуры (более высокими баллами центральной пористости, осевой ликвации, общей пористости). Поэтому, применение непрерывнолитых заготовок такого же сечения, как катаных, не обеспечивает получение высокого качества готового проката.

Увеличение сечения НЛЗ требует дорогостоящей реконструкции действующих прокатных станов. В частности, необходимо заменить существующие нагревательные печи и установить дополнительно в голову стана четыре – шесть рабочих клетей. При неизменной конечной скорости прокатки на непрерывном стане это приведет к уменьшению скорости в первых клетях ниже допустимой по условиям работы прокатных валков и большому перепаду температуры металла по длине раската, что ухудшает качество готовой продукции. В связи с этим необходима замена и другого оборудования, ограничивающего увеличение скоростей прокатки (приводов клетей, устройств охлаждения проката и др.).

Для решения данной проблемы в последнее десятилетие ведутся поиски альтернативных путей использования непрерывнолитых заготовок на таких станах. Одним из путей является разработка деформационно-температурных параметров прокатки и калибровка валков, которые обеспечивают повышенную деформацию осевой зоны раскатов.

Цель работы – установление закономерностей влияния параметров деформации и типов калибров, которые применяются на сортопрокатных станах, на напряженно-деформированное состояние центральной зоны металла, что позволит разрабатывать рациональные конструктивные и технологические решения для перехода действующих станов на применение непрерывнолитой заготовки.

Изложение основных материалов исследований. Данные исследования выполнены с

использованием разработанного в ИЧМ НАНУ упрощенного метода оценки напряжений в сечении раскатов [1].

Исследовали влияние следующих параметров:

- размеров поперечного сечения заготовок в интервале от 80×80 до 200×200 мм;
- типа калибра (гладкая бочка, ящичный калибр, овальный калибр);
- степени деформации по вершине калибра в интервале от 10 до 30 %;
- температуры раската в интервале 900–1200 °С;
- марки стали (Ст3, 70);
- материала валков (сталь, чугун);
- диаметра валков в интервале 200–800 мм.

В соответствии с разработанным методом, влияние температуры проката, марки стали и материала валков проявляется через изменение коэффициента внешнего трения при прокатке.

Расчет коэффициента трения выполняли в соответствии с рекомендациями А. П. Грудева [2] по выражению:

$$f = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (0,55 - 0,00024 \cdot t)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий материал и состояние поверхности валков;

k_2 – коэффициент, учитывающий влияние скорости прокатки;

k_3 – коэффициент, учитывающий влияние химического состава стали.

Значения коэффициента k_1 : для чугунных закаленных шлифованных валков 0,9; для чугунных валков 1,0; для стальных валков 1,2; для стальных валков с насечкой 1,5.

Скорость прокатки в первых клетях непрерывного сортового стана, как правило, не превышает 1,0 м/с. В этом случае $k_2 = 1,0$.

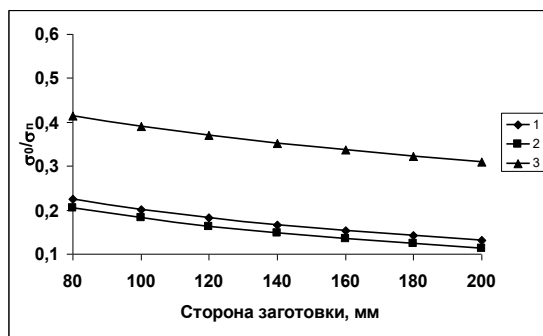
Для учета влияния химического состава стали (содержание углерода) использовали рекомендации работы [3] (табл. 1).

Таблица 1 – Значения поправочного коэффициента k_3 [3]

C, %	0,05–0,2	0,2–0,3	0,3–0,5	0,5–0,8	0,8–1,2
k_3	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9

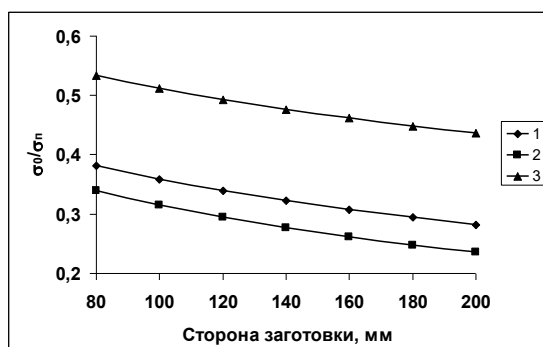
Результаты расчетов влияния размеров сечения заготовок на отношение напряжений в центральной части раската (σ_0) и на его поверхности ($\sigma_{\text{п}}$) представлены на рис. 1 – 3. Эти расчеты выполнены для условий прокатки в валках, диаметром 600 мм, коэффициент трения 0,35.

Результаты расчетов, приведенные на рис. 1 – 3 показывают, что с увеличением сечения исходной заготовки степень проработки центральных зон раската уменьшается, что вполне логично и не противоречит устоявшимся в теории прокатки представлениям.



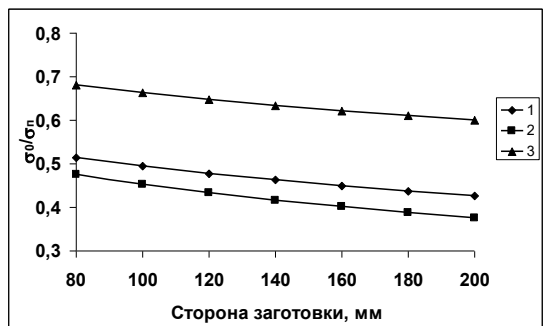
1 – гладкая бочка; 2 – ящичный калибр;
3 – овальный калибр

Рис. 1 – Зависимость отношения напряжений в центральной части раската и на его поверхности от размера исходной заготовки при прокатке в различных калибрах и степени деформации по вершине калибра 10 %



1 – гладкая бочка; 2 – ящичный калибр;
3 – овальный калибр

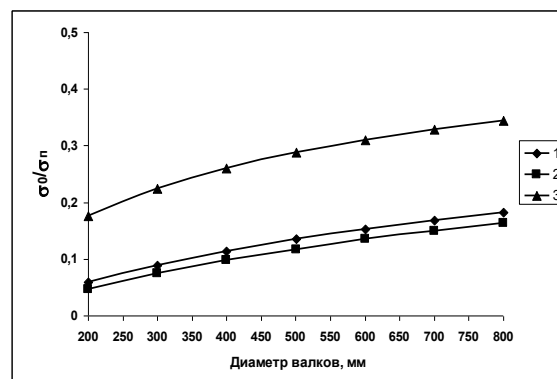
Рис. 2 – Зависимость отношения напряжений в центральной части раската и на его поверхности от размера исходной заготовки при прокатке в различных калибрах и степени деформации по вершине калибра 20 %



1 – гладкая бочка; 2 – ящичный калибр;
3 – овальный калибр

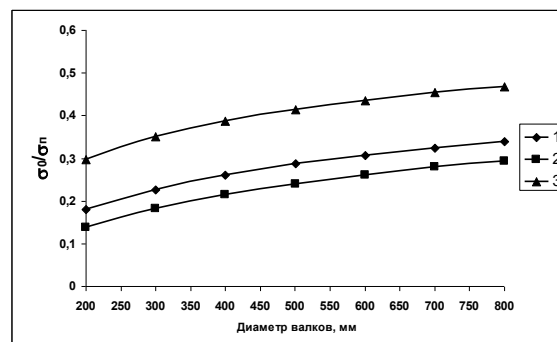
Рис. 3 – Зависимость отношения напряжений в центральной части раската и на его поверхности от размера исходной заготовки при прокатке в различных калибрах и степени деформации по вершине калибра 30 %

Результаты расчетов влияния диаметра рабочих валков (рис. 4 – 6) также подтверждают известные данные о том, что с увеличением диаметра валков, при прочих равных условиях, глубина проникновения деформации увеличивается.



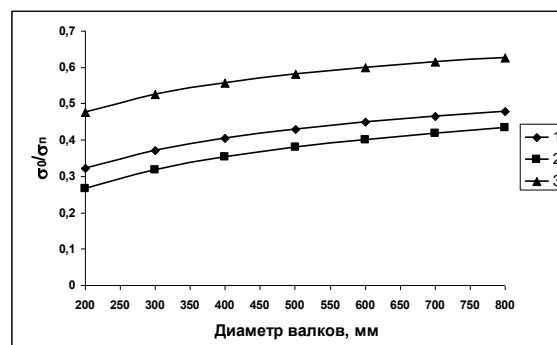
1 – гладкая бочка; 2 – ящичный калибр;
3 – овальный калибр

Рис. 4 – Зависимость отношения напряжений в центральной части раската и на его поверхности от диаметра валков при прокатке в различных калибрах и степени деформации по вершине калибра 10 %



1 – гладкая бочка; 2 – ящичный калибр;
3 – овальный калибр

Рис. 5 – Зависимость отношения напряжений в центральной части раската и на его поверхности от диаметра валков при прокатке в различных калибрах и степени деформации по вершине калибра 20 %



1 – гладкая бочка; 2 – ящичный калибр;
3 – овальный калибр

Рис. 6 – Зависимость отношения напряжений в центральной части раската и на его поверхности от диаметра валков при прокатке в различных калибрах и степени деформации по вершине калибра 30 %

В табл. 2 и 3 обобщены результаты аналитических исследований степени проработки центральных зон раската при различных температурах прокатки, материале рабочих валков и марках стали исходной заготовки. Размеры исходной заготовки – 160×160 мм, диаметр валков – 600 мм.

Таблица 2 – Результаты исследований степени проработки центральных зон сечения раската при различных температурах прокатки, материале рабочих валков (материал заготовки – Ст3)

$\varepsilon, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	f_s (стальные валки)	f_c (чугунные валки)	σ_0/σ_n (стальные валки)			σ_0/σ_n (чугунные валки)		
				Гладкая бочка	Ящичный калибр	Овальный калибр	Гладкая бочка	Ящичный калибр	Овальный калибр
10	900	0,434919	0,326189	0,09713	0,08285	0,258417	0,173987	0,154436	0,362542
	1000	0,39615	0,297112	0,11957	0,103449	0,29158	0,203338	0,182419	0,396886
	1100	0,359202	0,269401	0,145764	0,12783	0,327132	0,235906	0,213794	0,432636
	1200	0,324256	0,243192	0,1758	0,156155	0,36473	0,271496	0,248418	0,4694
20	900	0,434919	0,326189	0,230898	0,188636	0,382242	0,333093	0,28629	0,486339
	1000	0,39615	0,297112	0,263127	0,218894	0,416533	0,367388	0,320072	0,518669
	1100	0,359202	0,269401	0,29802	0,252232	0,452057	0,403353	0,355968	0,551469
	1200	0,324256	0,243192	0,33527	0,28842	0,488424	0,440602	0,393612	0,584387
30	900	0,434919	0,326189	0,369903	0,321461	0,553207	0,474314	0,427085	0,641815
	1000	0,39615	0,297112	0,404193	0,355743	0,583328	0,506923	0,460778	0,667785
	1100	0,359202	0,269401	0,439826	0,391799	0,613532	0,540084	0,49535	0,693495
	1200	0,324256	0,243192	0,476415	0,429246	0,643511	0,573442	0,530423	0,718705

Таблица 3 – Результаты исследований степени проработки центральных зон сечения раската при различных температурах прокатки, материале рабочих валков (материал заготовки – Сталь 70)

$\varepsilon, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	f_s (стальные валки)	f_c (чугунные валки)	σ_0/σ_n (стальные валки)			σ_0/σ_n (чугунные валки)		
				Гладкая бочка	Ящичный калибр	Овальный калибр	Гладкая бочка	Ящичный калибр	Овальный калибр
10	900	0,396374	0,297281	0,119427	0,103317	0,291377	0,203154	0,182243	0,396678
	1000	0,368867	0,276651	0,138404	0,120946	0,317434	0,226913	0,205099	0,422983
	1100	0,341124	0,255843	0,160599	0,141775	0,346072	0,253692	0,231056	0,45128
	1200	0,313122	0,234841	0,186613	0,166437	0,377593	0,283927	0,260587	0,481758
20	900	0,396374	0,297281	0,262929	0,218706	0,416326	0,367179	0,319865	0,518475
	1000	0,368867	0,276651	0,288469	0,24305	0,442483	0,393617	0,346205	0,542693
	1100	0,341124	0,255843	0,316742	0,270347	0,47052	0,422211	0,374969	0,56826
	1200	0,313122	0,234841	0,34809	0,301006	0,500612	0,453179	0,406422	0,595281
30	900	0,396374	0,297281	0,403986	0,355535	0,58315	0,506727	0,460574	0,667631
	1000	0,368867	0,276651	0,430213	0,38203	0,605486	0,531204	0,486062	0,686676
	1100	0,341124	0,255843	0,458389	0,410745	0,628865	0,55709	0,513195	0,706426
	1200	0,313122	0,234841	0,4887	0,441911	0,653361	0,584497	0,542111	0,726926

Следует отметить, что полученные данные соответствуют основным положениям теории прокатки. Вместе с тем, разработанный метод позволяет в первом приближении количественно оценивать влияние технологических параметров деформации и схем калибров на проработку центральной зоны непрерывнолитых заготовок.

Выводы.

1. С применением разработанного упрощенного метода оценки напряжений в сечении раскатов проведены аналитические исследования влияния параметров прокатки и типов калибров на деформационную проработку центральной зоны раскатов.

2. Установлено, что повысить степень проработки центральных зон сечения раската возможно путем увеличения диаметра рабочих валков,

применения чугунных валков вместо стальных, повышением температуры исходной заготовки; применением овальных калибров.

3. Показано, что повышение содержания углерода в стали способствует увеличению степени проработки центральных зон сечения раската.

Список литературы

1. Паламарь Д.Г., Воробей С.А., Лохматов А.П., Ершов С.В. Метод оценки напряженно-деформированного состояния осевой зоны раската при горячей сортовой прокатке. Обработка материалов давлением: сб. научн. тр. ДГМА, Краматорск: из-во ДГМА. – 2013, №2(35). – С. 43-48.
2. Грудев А. П. Внешнее трение при прокатке. – М.: Металлургия, 1973. – 288 с.
3. Жучин В.А., Никитин Г.С., Шварцбарт Я.С. Расчет усилий при непрерывной горячей прокатке. – М.: Металлургия, 1986. – 198 с.

References (transliterated)

1. Palamar DG, Vorobey SA, Lokhmatov AP, Ershov S.V. Method for estimating the stress-strain state of the axial zone of the roll during hot section rolling. Processing of materials by pressure: a collection of scientific papers DGMA. Kramatorsk, DGMA Publ., 2013, no 2 (35), pp. 43–48.
2. Grudev A.P. External friction during rolling. Moscow, Metallurgy Publ., 1973. 288 p.
3. Zhuchin V.A., Nikitin G.S., Shvartsbart Ya.S. Calculation of effort during continuous hot rolling. Moscow, Metallurgy Publ., 1986. 198 p.

Поступила (received) 05.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Паламар Дмитро Григорович (Паламарь Дмитрий Григорьевич, Palamar Dmitry Grigorievich) – Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної Академії Наук України, відділ процесів і машин обробки металів тиском (BOMT), молодший науковий співробітник; м. Дніпро; Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9503-3248>; e-mail: damjan@i.ua

Воробей Сергій Олександрович (Воробей Сергей Александрович, Vorobei Sergii Aleksandrovich) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної Академії Наук України, відділ процесів і машин обробки металів тиском (BOMT), старший науковий співробітник; м. Дніпро; Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0119-3935>; e-mail: vso54@ukr.net

Раздобреєв Валерій Гурійович (Раздобреев Валерий Гурьевич, Razdobreev Valeriy Gyriyovich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної Академії Наук України, відділ процесів і машин обробки металів тиском (BOMT), старший науковий співробітник; м. Дніпро; Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7402-7992>; e-mail: v_razdobreev@ukr.net

Приходько Ігор Юрійович (Приходько Игорь Юрьевич, Prikhodko Igor Yurievich) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної Академії Наук України, відділ процесів і машин обробки металів тиском (BOMT), завідувач відділом процесів і машин обробки металів тиском (BOMT) м. Дніпро; Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5651-8106>; e-mail: isi@ukr.net